

**Tomáš PETŘÍK<sup>1</sup>, Markéta LEDNICKÁ<sup>2</sup>, Zdeněk KALÁB<sup>3</sup>, Eva HRUBEŠOVÁ<sup>4</sup>**

**HODNOCENÍ TECHNICKÉ SEIZMICITY V OKOLÍ REKONSTRUOVANÉ KOMUNIKACE**

**ANALYSIS OF TECHNICAL SEISMICITY IN THE VICINITY OF RECONSTRUCTED ROAD**

**Abstrakt**

Příspěvek se zabývá hodnocením seizmického zatížení stavebních objektů v okolí rekonstruované komunikace při použití těžké vibrační techniky. Konkrétní řešený příklad vychází z experimentálního měření vibrací vyvolaných při rekonstrukci komunikace v obci Karlova Studánka na Bruntálsku. Většina stavebních objektů situovaných v bezprostřední blízkosti komunikace je ve vlastnictví podniku Státní léčebné lázně Karlova Studánka, s.p. a jedná se o památkově chráněné objekty. Kromě výsledků experimentálního měření in situ jsou v příspěvku představeny také výsledky numerického modelování dané situace. Analýza dat prokázala, že použitím vhodné vibrační technologie lze dosáhnout příznivých výsledků z pohledu vlivu na objekty.

**Klíčová slova**

Karlova Studánka, seizmické zatížení, numerický model, vibrační válec.

**Abstract**

This contribution deals with the evaluation of seismic loading of structures situated in the vicinity of reconstructed road where vibratory roller was used. Experimental seismological measurements were carried out in the Karlova Studánka village in the district of Bruntál. Buildings situated in the vicinity of reconstructed road are mostly listed buildings owned by the local spa – Státní léčebné lázně Karlova Studánka, s.p. In addition to the results of experimental measurement also results of mathematical modeling are presented in this paper. Analysis of data documents that using suitable vibration technology it is possible to achieve favorable results from the viewpoint of vibration effect on the structures.

**Keywords**

Karlova Studánka, seismic loading, numerical model, vibratory roller.

---

<sup>1</sup> Ing. Tomáš Petřík., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 362, e-mail: tomas.petrik@vsb.cz.

<sup>2</sup> Ing. Markéta Lednická, Ph.D., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 362, e-mail: marketa.lednicka@vsb.cz.

<sup>3</sup> Prof. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 948, e-mail: zdenek.kalab@vsb.cz.

<sup>4</sup> Doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 373, e-mail: eva.hrubesova@vsb.cz.

# 1 ÚVOD

Vibrace vyvolané umělým zdrojem během stavebních aktivit spadají do technické seizmicity. Především v zastavěných oblastech se vibrace způsobené technickou seizmicitou projevují negativně poruchami stavebních objektů a ztrátou komfortu osob vyskytujících se v těchto objektech. Hodnocení účinků technické seizmicity se v České republice provádí podle normy ČSN 73 0040 „Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva“ [2]. Odezva na zatížení technickou seizmicitou se posuzuje zpravidla hodnotou efektivní rychlosti kmitání na referenčním stanovišti, tj. v nejnižším podlaží objektu nebo na jeho základech. Pro posouzení je třeba stavební objekt zařadit do tzv. třídy významu [1] a třídy odolnosti [2].

Při použití těžké vibrační techniky, kam spadá také níže řešený případ vibračního válce, se do okolního prostředí šíří vibrace, které mohou představovat pro nejbližše situované stavební objekty významné seizmické zatížení. Při výběru vhodného typu vibračního válce a vhodného způsobu generování vibrací se mohou minimalizovat negativní účinky a sníží se tak riziko poškození stavebních objektů. Ke stanovení předpokládaného seizmického zatížení před začátkem rekonstrukce komunikace můžeme přistoupit několika způsoby. Jedním z nich je matematické modelování dané situace. Příklad tohoto způsobu stanovení seizmického zatížení je uveden níže v textu. Dalším způsobem je např. použití dat a poznatků z jiné lokality s podobnými geologickými poměry a podobným vibračním zařízením. V neposlední řadě je možné provádět měření seizmických účinků během probíhající rekonstrukce a na základě získaných výsledků přizpůsobit technologii hutnění daným okolním podmínkám. Výsledky měření a modelování účinků vibrací při použití těžké vibrační techniky lze nalézt např. v článcích [3], [6], [7] a [8].

V předmětné lokalitě Karlovy Studánky, kde probíhala rekonstrukce komunikace, bylo seizmické zatížení v okolí této komunikace vyhodnoceno metodikou mapy střetů zájmů, která zahrnuje jak informace o stavebních objektech (tzv. stupeň zranitelnosti, [4]), tak informace o velikosti seizmického zatížení ve formě izolinií rychlosti kmitání v okolí komunikace. Podrobnější popis metodiky tvorby map střetů zájmů pro hodnocení seizmického zatížení stavebních objektů lze nalézt např. v článku [5]. Získaný výstup hodnocení seizmického zatížení ve formě mapy střetů umožňuje přehledné zhodnocení celé situace v dané lokalitě a vymezuje případné kritické oblasti, kterým je třeba při hodnocení seizmického zatížení věnovat zvýšenou pozornost.

## 2 SITUACE V KARLOVĚ STUDÁNCE

Karlova Studánka spadá geograficky do okresu Bruntál a je jeho nejvýše položenou obcí. Prioritou Karlovy Studánky je lázeňství, které stálo u zrodu obce v 18. století. Z geologického hlediska se Karlova Studánka nachází v horském reliéfu Jeseníků, je situována na rozhraní krystalinika Jesenské klenby a vrbenských vrstev. Toto území je pokryto kvarténními sedimenty, což jsou hlavně balvanité sutě a štěrky, lze v něm nalézt významné tektonické linie.

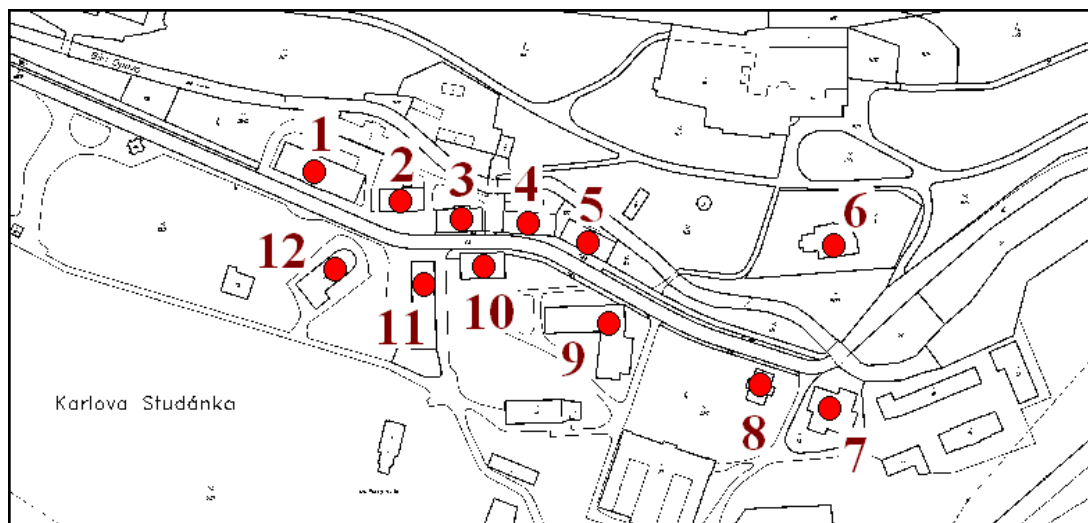
Přes obec prochází komunikace II/445 směrem od Bruntálu na Rýmařov a Jeseník. Na jaře roku 2010 probíhala v obci rekonstrukce této komunikace, přičemž při stavbě nové vozovky byl ke zhutňování podložních vrstev použit vibrační válec BOMAG BW 177 DH [10]. Kolem této komunikace je soustředěna většina stavebních objektů lázní, včetně památkově chráněných, které jsou zapsány na seznamu památek ČR. Z objektů lze uvést např. Vyšetřovací ústav, Lázeňský dům Pošta, Dům Odra, Lázeňský dům Bezruč, Lázeňský dům Opava (obr. 1). Nejstarší objekty pochází z konce 18. století. Uvedené budovy se nachází v bezprostřední blízkosti komunikace II/445 a tudíž bylo očekáváno jejich zvýšené seizmické zatížení. Již před započítáním rekonstrukčních prací byla provedena pasportizace objektů, na kterých byly patrné trhliny ve zdivu. I proto bylo k hutnění přistoupeno co nejšetrnějším způsobem.

Pro vybrané objekty v bezprostřední blízkosti komunikace byl stanoven tzv. stupeň zranitelnosti (označen  $\alpha$  až  $\varepsilon$  v tab. 1), který zohledňuje třídu odolnosti objektů a jejich sociální a ekonomický význam (metodika uvedena např. v [4]). Vzhledem ke stáří objektů a vzhledem k tomu, že se jedná o kulturní památky, jsou všechny zařazeny do třídy odolnosti *A*, až na objekt prodejny potravin, který je zařazen do třídy odolnosti *B*. Z hlediska významu byly objekty zařazeny

do tříd I a II. Stupeň zranitelnosti pro jednotlivé objekty v řešené lokalitě je uveden ve výsledné mapě střetů na obr. 6.

Tab. 1: Stupeň zranitelnosti stavebních objektů (označen  $\alpha$  až  $\varepsilon$ ) v závislosti na třídě odolnosti [2] a třídě významu [1]

Stupeň zranitelnosti objektů				
Třída odolnosti objektů	Třída významu objektů			
	U	I	II	III
A	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$
B	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	—
C	$\gamma$	$\delta$	—	—
D	$\delta$	$\varepsilon$	—	—
E	$\delta$	—	—	—
F	$\varepsilon$	—	—	—



Obr. 1: Schéma části obce Kalova Studánka v okolí rekonstruované komunikace.

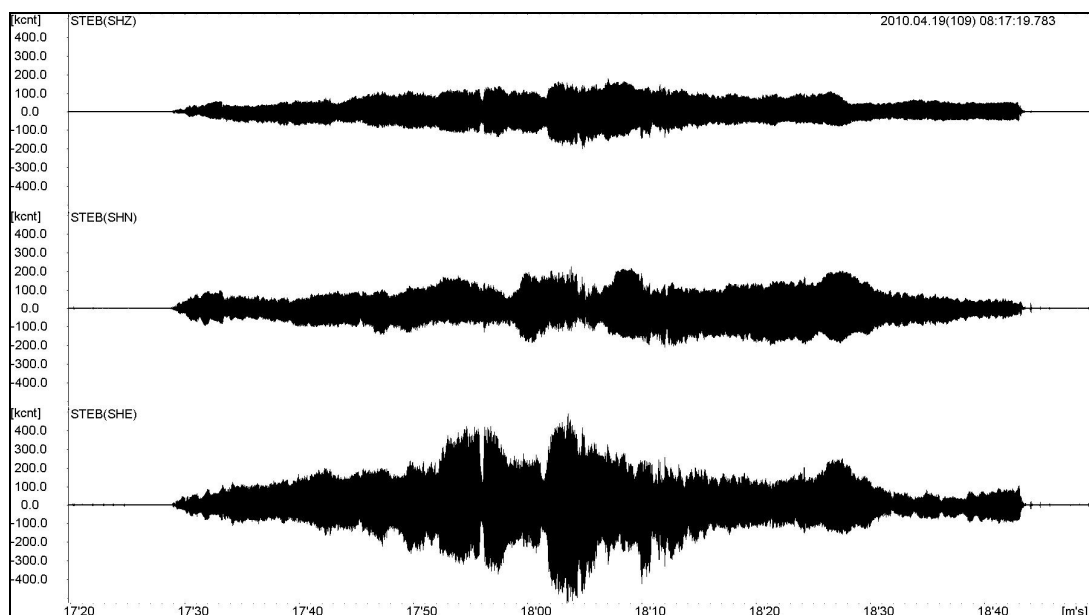
Čísla odpovídají stavebním objektům, které byly v další části analyzovány.

- 1 – Knížecí dům – Vyšetřovací ústav, 2 – Věžový dům (restaurace), 3 – Dům Praděd, 4 – Lázeňský dům Pošta, 5 – Lázeňský dům Opava, 6 – Vila Vlasta, 7 – Prodejna potravin, 8 – Vila Šárka, 9 – Lázeňský dům Bezruč, 10 – Dům Odra, 11 – Hotel Džbán, 12 – Hudební pavilon (Kinosál).

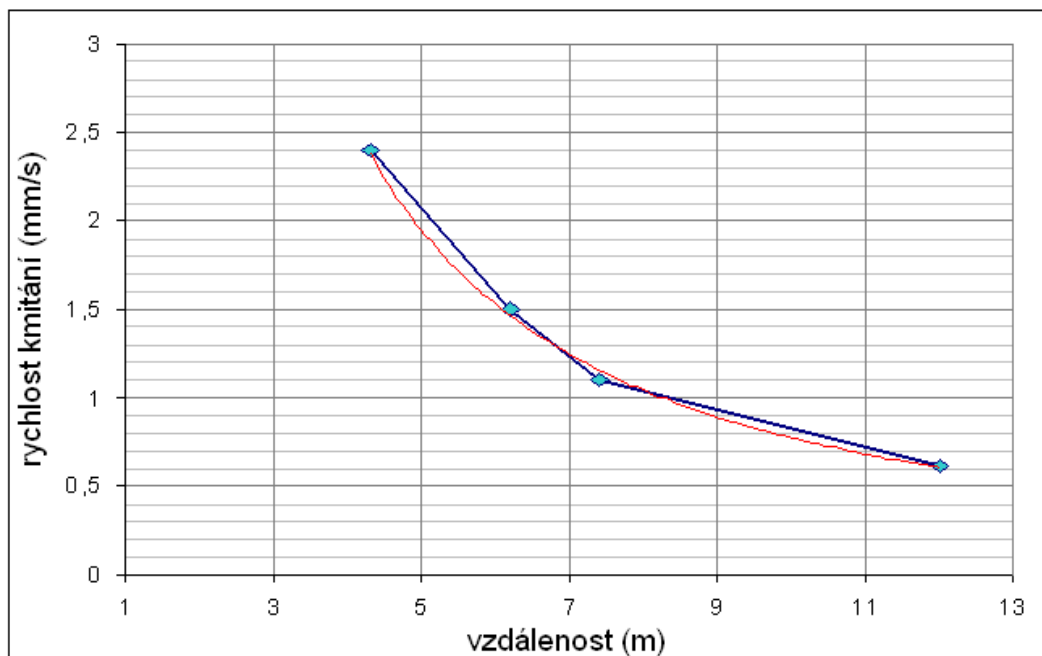
Výsledné zařazení stavebních objektů do stupně zranitelnosti je uvedeno na obr. 6.

### 3 TERÉNNÍ MĚŘENÍ

Terénní měření proběhlo na jaře 2010 ve dvou etapách. První jednodenní měření bylo provedeno před lázeňským objektem „Pošta“, kde probíhalo hutnění podkladových vrstev nové komunikace. Druhé střednědobé měření probíhalo v objektech „Odra“ a „Vyšetřovací ústav“ od 6. 5. do 24. 5. 2010. V době zahájení měření byla již před objektem Odra základní vrstva nové komunikace zhutněna. Před vyšetřovacím ústavem probíhalo dokončování odebírání zeminy v prostoru pod budoucí komunikací, během měření pak byly zhotoveny podkladové vrstvy komunikace. Můžeme tedy předpokládat, že doba měření reprezentovala celý pracovní cyklus. K měření byly použity autonomní seizmické stanice typu GAIA firmy VISTEC Praha, které poskytují digitální záznam tříložkových dat, dynamický rozsah aparatury je až 138 dB, vzorkovací frekvence digitálního záznamu je až 500 Hz. Čas řídícího systému stanice je synchronizován pomocí systému GPS. K aparaturám byly připojeny krátkoperiodické tříložkové rychlostní seismometry LE3D a ViGeo2. Orientace vodorovných složek senzorů byla při uváděném měření paprsková, tj. osa  $N$  byla orientována rovnoběžně s vozovkou. Většina vibračních projevů hutnění vibračním válcem byla na záznamech dobře rozpoznatelná a je možno jim přiřadit tuto konkrétní stavební činnost. Příklad záznamu je na obr. 2. Maximální naměřená amplituda rychlosti kmitání dosáhla na vodorovné složce hodnoty  $2,4 \text{ mm.s}^{-1}$  (tj. efektivní hodnota  $1,7 \text{ mm.s}^{-1}$ ). Spektra záznamů vykazovala významný pík na frekvenci cca 27 – 30 Hz. Na základě naměřených hodnot rychlosti kmitání během prováděných rekonstrukčních prací byla stanovena útlumová křivka závislosti maximální rychlosti kmitání na vzdálenosti od zdroje, a to pro vodorovnou složku, na které byl získán největší projev (obr. 3).



Obr. 2: Vlnový záznam seizmického projevu těžké vibrační techniky pořízeného před lázeňským objektem „Pošta“, na vodorovné ose je vyneseno čas v sekundách, na svislé ose amplituda rychlosti kmitání v kvantovacích úrovních



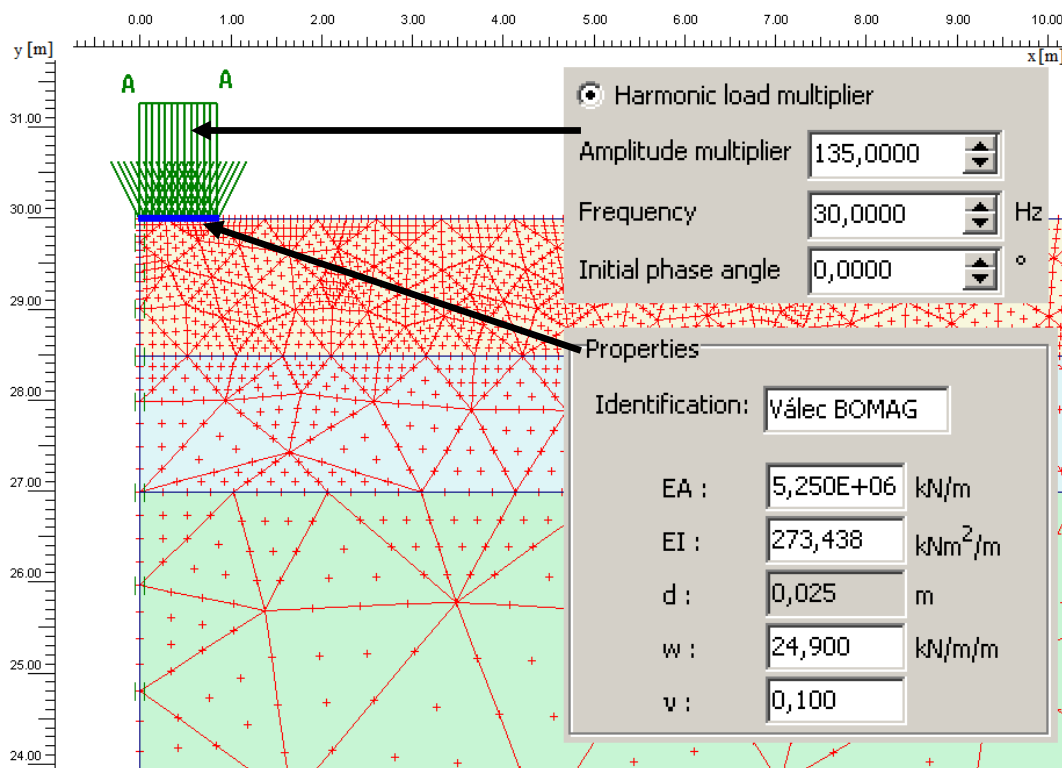
Obr. 3: Závislost měřené amplitudy rychlosti kmitání na vzdálenosti od zdroje (v tomto případě se jedná o vibrační válec BOMAG BW 177 DH použitý na lokalitě Karlova Studánka), červená křivka reprezentuje mocninou závislost

#### 4 MATEMATICKÝ MODEL

Pro tvorbu matematického modelu řešené situace byla využita rovinná verze výpočetního programu PLAXIS V8.2 [9]. Geologické poměry, podstatné pro úroveň pláň komunikace a provádění stavebních prací, byly tvořeny do hloubky 1,5 m z antropogenních navážek. Ty obsahovaly štěrk se stavebním odpadem do hloubky 0,5 m a níže pak s úlomky balvanů různých hornin. Pod svrchní vrstvou se nacházely zhruba do hloubky 3 m svahové hlíny. Ty byly převážně tvořeny hlínou písčitou tuhé až pevné konzistence. Pod těmito vrstvami se nacházely metamorfity krystalinika, tj. horniny typu krystalických břidlic, fylitů, kvarcitů, místy i charakteru sutí, vše s různým stupněm zvětrání (geologické zprávy z Geofondu ČR). Geotechnické parametry zemin byly do modelu zvoleny podle směrných normových charakteristik (viz Tab. 2).

Tab. 2: Geotechnické parametry zemin použité v modelu

Mocnost	Název	$E_{def}$	$\nu$	$\gamma$	$c_{ef}$	$\varphi_{\phi c}$
[m]		[MPa]	[-]	[kN.m <sup>-3</sup> ]	[kPa]	[°]
0–1,5	Štěrk špatně zrněný s příměsí balvanů	190	0,2	20	1	37
1,5–3,0	Hlína písčitá	8	0,35	18	16	27
3,0–	Metamorfity krystalinika	3200	0,2	20	1500	50

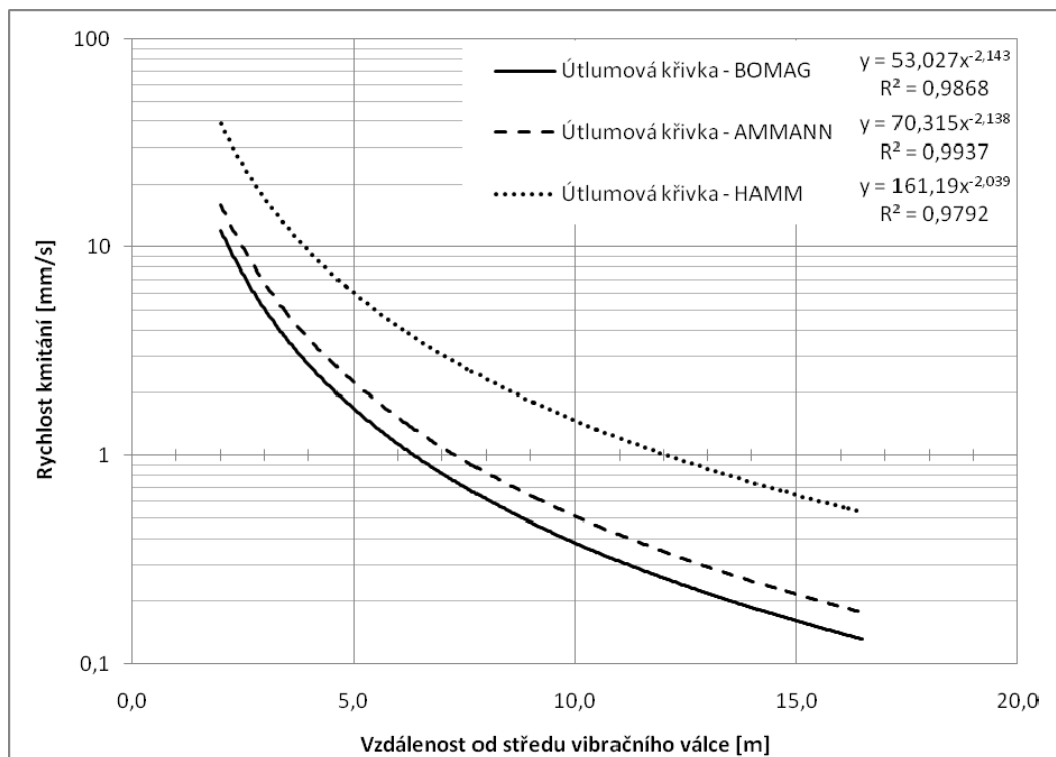


Obr. 4: Popis zadání vibračního válce do výpočetního programu PLAXIS (příklad BOMAG).

Zvolený numerický model byl rotačně symetrický v rozsahu  $30 \times 30$  m (délka  $\times$  hloubka). Horninové prostředí bylo tvořeno třemi vrstvami s horizontálním rozhraním podle geologické stavby. Geotechnické vlastnosti zemín jsou zavedeny podle Tab. 2. Z důvodu zjednodušení byl v modelu zanedbán vliv podzemní vody. V modelu byly kromě klasických geometrických okrajových podmínek zadány i tzv. absorpční podmínky na hranicích modelu. Materiálové parametry tlumení byly v modelu definovány pomocí Rayleighových součinitelů tlumení. Pro danou geologickou stavbu byly hodnoty součinitele zvoleny  $\alpha_R = 0,001$  a  $\beta_R = 0,01$ . Primární napjatost byla generována programovým systémem automaticky na základě vlastností uvažovaných zemín a hloubky. V modelu byly zvoleny 3 typy vibračních válců, z nichž vibrační válec BOMAG odpovídal použitému typu v reálné situaci. Vliv vibračního válce byl v modelu definován pomocí svislé dynamické síly o dané frekvenci působící na ocelovou desku v levém kraji modelu, která odpovídá hmotnosti a poloviční šíři daného běhounu vibračního válce (obr. 4). Parametry vibračních válců potřebné pro zadání do modelu byly voleny podle charakteristik udávaných výrobcem (viz tab. 3).

Tab. 3: Parametry vibračních válců podle výrobců [10], [11] a [12]

	BOMAG	AMMANN	HAMM	
Provozní hmotnost	7840	12730	19800	g
Statická lineární síla	24,9	47,8	56,3	kN.m <sup>-1</sup>
Šíře běhounu	1686	1500	2220	mm
Frekvence	30 / 40	32 / 35	27 / 30	Hz
Odstředivá síla	135 / 120	277 / 206	331 / 243	kN



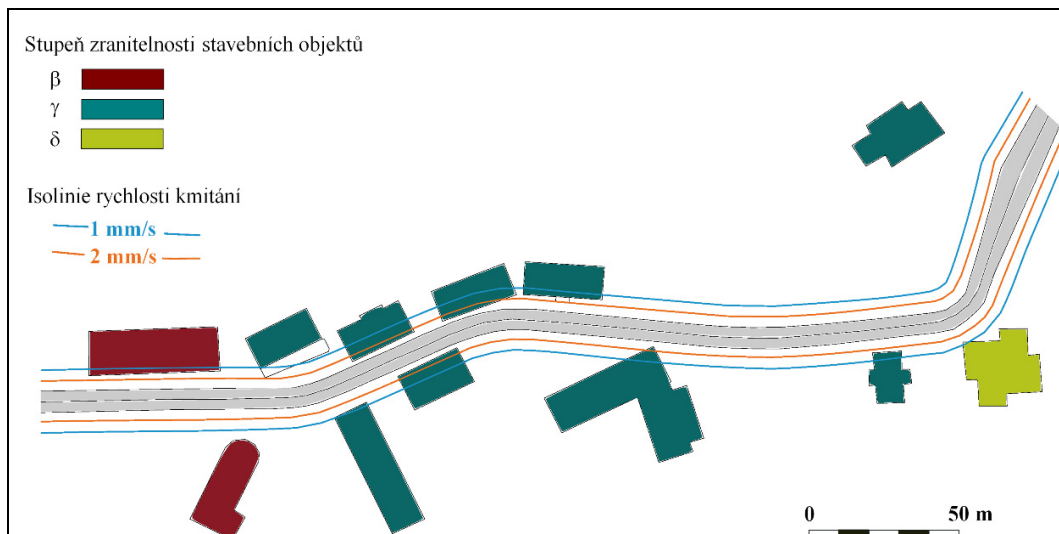
Obr. 5: Útlumová křivka amplitudy rychlosti kmitání pro vodorovnou složku získaná na základě modelované situace.

Pro výpočet nebylo uvažováno dynamické zatížení v celém časovém rozmezí jeho působení, ale pouze po dobu prvních 2 sekund. Výpočet a modelová analýza proběhly ve dvou fázích. Odečet hodnot rychlosti kmitání pro vytvoření útlumové křivky (obr. 5) byl prováděn v 10-ti různých povrchových vzdálenostech od středu vibračního válce. Rychlost kmitání na vodorovné složce podle útlumové křivky pro vibrační válec BOMAG byla ve vzdálenosti kolem 4,5 m od středu běhounu přibližně rovna  $2 \text{ mm.s}^{-1}$ , ve vzdálenosti kolem 6,5 m od středu vibračního válce se pak hodnota pohybovala kolem  $1 \text{ mm.s}^{-1}$ . Výsledná útlumová křivka pro vibrační válec BOMAG charakterizuje pouze horninové prostředí dané lokality a částečně se liší od útlumové křivky stanovené na základě experimentálního měření in-situ v zastavěné oblasti. Stavební konstrukce totiž nebyly v modelu uvažovány, a to z důvodu omezené možnosti modelování stavebních objektů nad povrchem terénu ve výpočetním programu Plaxis.

## 5 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Na základě výsledků experimentálního měření bylo provedeno zhodnocení seizmického zatížení stavebních objektů v okolí rekonstruované komunikace pomocí mapy střetů (obr. 6). Podle útlumové křivky z experimentálního měření in situ (obr. 3) byly stanoveny vzdálenosti odpovídající hodnotám rychlosti kmitání  $1 \text{ mm.s}^{-1}$  a  $2 \text{ mm.s}^{-1}$  a tyto byly následně použity pro vynesení izoliní v okolí zdroje vibrací podél celé délky rekonstruované komunikace. Tyto izolinie reprezentují maximální rychlosti kmitání dosažené za předpokladu, že zdroj vibrací se pohybuje na okrajích komunikace.





Obr. 6: Mapa střetů hodnotící seismické zatížení v okolí rekonstruované komunikace v obci Karlova Studánka, izoliny maximální rychlosti kmitání jsou vyneseny pro pohybující se zdroj vibrací po celé délce komunikace

Při posuzování dynamické odezvy způsobené technickou seismicitou (s výjimkou odezvy od trhacích prací) z hlediska mezních stavů 1. skupiny není třeba dále odezvu analyzovat, pokud na referenčním stanovišti efektivní rychlost pohybu nepřesáhne mezní hodnoty uvedené v normě [2]. Tyto hodnoty efektivní rychlosti pro analyzované objekty na lokalitě Karlova Studánka jsou uvedeny v tab. 4. V tomto případě představuje stupeň zranitelnosti  $\beta$  objekty třídy odolnosti A a třídy významu I, stupeň zranitelnosti  $\gamma$  objekty třídy odolnosti A a třídy významu II a stupeň zranitelnosti  $\delta$  objekty třídy odolnosti B a třídy významu II. V tab. 4 jsou dále uvedeny efektivní rychlosti, při jejichž dosažení se doporučuje provádět dynamický výpočet, a efektivní rychlosti, při jejichž dosažení dochází u 5 % objektů k poškození prvního stupně (tj. první známky poškození, trhliny šířky do 1 mm na styku stavebních prvků) [2].

Tab. 4: Mezní hodnoty efektivní rychlosti podle [2]

stupeň zranitelnosti	$v_{ef}$ (mm.s <sup>-1</sup> )		
	$\beta$	$\gamma$	$\delta$
posouzení dynamické odezvy	0,4	0,7	1
doporučení dynamického výpočtu	1,8	2,2	4
poškození prvního stupně u 5 % objektů	7	9	14

Z uvedeného měření a analýzy situace v Karlově Studánce vyplývá, že pro většinu posuzovaných objektů při daném seismickém zatížení by bylo potřeba analyzovat dynamickou odezvu, ale nemělo by dojít ke vzniku poruch. Naměřené příznivé seismické účinky při rekonstrukci komunikace v Karlově Studánce byly dosaženy především vhodným výběrem typu vibračního válce a způsobem generování vibrací. Hutnění nových vrstev rekonstruované komunikace bylo prováděno pouze oscilací (šetrný způsob hutnění), a to především v místech poblíž historických stavebních objektů.



Uvedená metodika ukazuje, jak je možno v geologicky stabilním prostředí stanovit útlumovou křivku vibračních účinků a následně stanovit předpokládané seizmické zatížení stavebních objektů v okolí zdroje vibrací.

## 6 ZÁVĚR

Použití těžké vibrační techniky je nedílnou součástí dnešních stavebních aktivit. Především v zastavěných oblastech představuje těžká vibrační technika zdroj technické seizmicity, kterou je třeba brát v úvahu při hodnocení seizmického zatížení stavebních objektů v blízkém okolí. Význam matematického modelování spočívá především v tom, že lze vyhodnotit v relativně krátké době velké množství parametrických výpočtů s variantními hodnotami jak parametrů samotného seizmického zatížení, tak i parametrů okolního horninového prostředí. Na základě získaných výsledků modelování lze volbou vhodného typu zařízení a správného technologického postupu prací minimalizovat negativní účinky vibrací šířících se do okolního prostředí, a tím snížit riziko vzniku poruch na stavebních objektech. Dalším přínosem modelových výpočtů je možnost v konkrétní situaci spolehlivěji prognózovat dynamické účinky na okolí a přijmout odpovídající stabilizační opatření. V článku jsou uvedeny výsledky experimentálních měření a modelování účinků těžké vibrační techniky při rekonstrukci komunikace v obci Karlova Studánka. Většina stavebních objektů situovaných v bezprostřední blízkosti komunikace je ve vlastnictví podniku Státní léčebné lázně Karlova Studánka, s.p. a jedná se o památkově chráněné objekty. U žádného z posuzovaných objektů nebyly překročeny mezní hodnoty pro možný vznik poruch. Toho bylo dosaženo především vhodně zvoleným typem vibračního válce a šetrným způsobem hutnění. I když bylo experimentální seizmické měření prováděno lokálně na několika vybraných místech, celkové zhodnocení seizmického zatížení stavebních objektů podél řešeného úseku komunikace umožnila tzv. mapa střetů zájmů. Tato mapa zobrazuje stupeň zranitelnosti stavebních objektů a izolinie maximální rychlosti kmitání stanovené na základě útlumové křivky získané z měření in situ. Numerický model umožnil stanovit útlumovou křivku v daném typu geologického prostředí a ukazuje možnost stanovení účinků pro místa, v nichž neprobíhalo měření. Lze uvažovat i o odhadu situace při změně některého vstupního parametru, např. typ vibrací, změna frekvence vibrací, geologická anomálie.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek byl zpracován v rámci řešení projektu OP VK CZ.1.07/2.3.00/20.0013 Tvorba a internacionalizace špičkových vědeckých týmů a zvyšování jejich excelence na Fakultě stavební VŠB-TUO.

## LITERATURA

- [1] ČSN 73 0031 Spolehlivost stavebních konstrukcí a základových púd: základní ustanovení pro výpočet. Praha: Vydavatelství ÚNM, 1989. 24 s.
- [2] ČSN 73 0040 Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva. Praha: Český normalizační institut, 1996. 28 s.
- [3] BOUAZZA, A., AVALE, D., L. *Verification of the effects of rolling dynamic compaction using a continuous surface wave system*. Australian geomechanics, 2006, vol. 41, no. 2, s. 101-108.
- [4] LEDNICKÁ, M. *Classification of buildings and structures for elaboration of maps of clash of opinions*. Ph.D. Workshop 2006 - Proceedings. Ostrava: Ústav geoniky AV ČR, 2006. s. 31-34.
- [5] KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M. *Mapa seizmického zatížení stavebních objektů na poddolovaném území: Příklad z obce Stonava na Karvinsku (Hornoslezská uhelná pánev)*. Geotechnika, 2010, roč. 13, č. 3-4, s. 20-25.
- [6] PETŘÍK, T. *Analýza vlivu technické seizmicity od vibračního válce*. Sborník anotací konference JUNIORSTAV 2011. Brno: FS VUT, 2011, s. 1-5.

- [7] PETŘÍK, T., STOLÁRIK, M. *Experimentální měření a numerický model dynamických účinků vibračního válce*. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební, 2011, roč. XI, č. 1, s. 97 – 102.
- [8] STOLÁRIK, M. *Studie seizmického zatížení při zhutňování zemin těžkou vibrační technikou*. Sborník referátů konference JUNIORSTAV 2007. Brno: FS VUT, 2007, s. 190.
- [9] PLAXIS. Oficiální stránky společnosti PLAXIS BV [online]. Dostupné na <<http://www.plaxis.nl/>>.
- [10] BOMAG worldwide. Oficiální stránky společnosti BOMAG [online]. Dostupné na <<http://www.bomag.com/worldwide/>>.
- [11] Ammann Group. Oficiální stránky společnosti Ammann [online]. Dostupné na <<http://www.ammann-group.cz/>>.
- [12] Hamm AG. Oficiální stránky společnosti Hamm [online]. Dostupné na <<http://www.hamm.eu/>>.

**Oponentní posudek vypracoval:**

Prof. Ing. Karel Müller, DrSc., Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Ostrava.

RNDr. Aleš Poláček, CSc., Institut geologického inženýrství, Hornicko-geologická fakulta, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.